Über das polare und magnetische Verhalten von Pflanzenzellen.

Von Dr. **Wilhelm Velten.**

(Vorgelegt in der Sitzung am 23. November 1876.)

Aus dem zweiten Theil meiner Abhandlung: „Die Einwirkung strömender Elektricität auf die Bewegung des Protoplasma, auf den lebendigen und todten Zelleninhalt, sowie auf materielle Theilchen überhaupt" haben wir bereits kennen gelernt, dass das Wandern der festen Inhaltstheile beim Durchleiten eines elektrischen Stromes durch Pflanzenzellen nach denjenigen Wandtheilen der Zellen, welche dem positiven Pole zugekehrt sind, nicht die einzige wahrnehmbare Bewegungserscheinung ist, dass bei geringen Veränderungen der Stromstärke auch die Bewegungserscheinungen sich ändern.

Wir haben unter Anderem eine elektrische, andauernde, unregelmässige Bewegungserscheinung kennen gelernt, die wir Glitschbewegung für den einfacheren Fall, für den complicirteren Circulation nennen können; es war uns sogar gelungen, eine elektrische Rotation innerhalb der Zellen herzustellen, welche in hohem Grade sich ähnlich verhält der vitalen Rotation von Zelleninhaltskörpern.

Aus dem gewöhnlichen Verhalten der Zelleninhaltstheile, auch wenn sie bei Einwirkung eines starken Inductionsstromes einfach an eine Wand geworfen werden, dass sie vor dieser Wand Rotationen in engen Bahnen ausführen, liess sich auch schon auf polare Eigenschaften der Zelle schliessen; es werden inducirte Pole entstehen, weil, wie sich diess bereits aus meinen physikalischen Untersuchungen ergeben hat, solche lebhafte Rotationen in engen Bahnen von materiellen, in Wasser suspendirten Theilchen häufig vorkommen, wenn dieselben in die Nähe von in dieses Wasser mündenden Metallpolen gerathen und wir können daher vorläufig den obigen Analogieschluss machen.

Diese Auffassung wurde durch das Verhalten von Pflanzenzellen, durch welche man einen starken elektrischen Strom gehen

liess, gegenüber von Metalltheilchen, die in der Objectflüssigkeit suspendirt waren, wesentlich unterstützt.

Bringen wir äusserst fein vertheiltes Zinn, noch besser Zinnoxydul in die Objectflüssigkeit, was wir am einfachsten so bewerkstelligen, dass wir das Versuchsobject nicht zwischen zwei zugespitzte Platinelectroden legen, sondern statt dieser einfach zwei spitz zugeschnittene Staniolpapierplättchen anwenden, die nun beim Durchgehen eines elektrischen Stromes in das Versuchswasser fortwährend Zinntheilchen und Zinnoxydulpartikelchen (Oxydul am positiven Pol durch Oxydation von Zinn) durch den Sauerstoff der bei der Wasserzersetzung auftritt, in kleinster Form abstossen. Legen wir nun zwischen solche spitze Zinnelectroden beispielsweise ein Blattstück von *Elodea canadensis*, so treten ebenso wie früher bei der Untersuchung der Beziehung der Richtung der Bewegungserscheinungen des Zelleninhaltes zur Richtung des Inductionsstromes wechselnde Erscheinungen in Bezug auf das Verhalten der Zellen zu den Zinn und Zinnoxydultheilchen ein, bei welchen erst nach vielen Experimenten und Musterungen das Gesetzmässige aus dem Wechselvollen ausgeschieden werden kann.

Es findet nämlich, um sogleich auf das Wichtigste der Sache hinzuweisen, eine Anziehung der Zinnpartikelchen (unter Zinnpartikelchen verstehe ich hier und in der Folge der Kürze halber auch die Zinnoxydulpartikelchen mit) statt und zwar vorzugsweise der Zinnoxydulpartikelchen, welche Anziehung von den Zellen ausgeht.

Ich muss zuvor erwähnen, dass das Blatt der Länge nach mechanisch gar nicht verletzt wurde, dass ich lediglich nur zwei parallele Querschnitte durch dasselbe gemacht habe. Wendete ich ein ganzes Blatt an, so war der elektrische Widerstand zu gross und traten die Erscheinungen bei Anwendung eines Ruhmkorff, welcher von sechs Smee'schen Elementen getrieben war, nicht oder weniger deutlich ein. Die morphologische Unterseite verhält sich in Bezug auf das zu beschreibende Phänomen vollkommen gleich der morphologischen Oberseite.

Die häufigste Erscheinung, welche beim Durchleiten eines elektrischen Stromes eintritt, ist nun die, dass die Zellen sich lediglich nur auf derjenigen Seite mit Zinntheilchen bedecken,

welche dem positiven Pole zugekehrt ist. Die Erscheinung erstreckt sich oft über das ganze Blatt, manchmal sind es aber auch nur wenige Stellen, wo sie in Sicht kommt. Die dem negativen Pole zugekehrte Seite der Zellenoberfläche, welche dem Mikroskopiker zugekehrt ist, bleibt dann vollkommen frei von Zinnoxydul oder Zinntheilchen.

Oft genug ist es aber auch zu sehen, dass die dem negativen Pole zugekehrte Zellenhälfte sich schwarz bedeckt, während die andere Hälfte frei bleibt.

Endlich ist eine dritte Erscheinung von häufigem Auftreten, dass nur in der Mitte der Querwand von zwei aneinander stossenden Zellen ein Zinnoxydulfleck auftritt, der unter Umständen klein bleiben kann und nun beiden Zellen gemeinsam zukömmt, während der übrige Theil der Zellen keine Zinntheilchen anzieht. Seltener ist es, dass die parallel dem Strome liegenden Wände dauernd mit Zinntheilchen sich bedecken, und hängt dieser Fall, wie es scheint mit der Vertheilung des Zelleninhaltes zusammen oder aber mit der Lage der Blattzelle, denn es sind vorzugsweise die Randzellen, welche diese Erscheinung zeigen, Zellen, welche nicht mehr parallel oder senkrecht zum Strome liegen, sondern einen gebogenen Verlauf zur Blattaxe und zum elektrischen Strome haben.

Ich habe häufig beobachtet, wie diese Ansammlung von Zinntheilchen entsteht; die Zinnpartikelchen — die Oxydultheilchen sind hierbei ihrer schwarzen Farbe halber leichter zu verfolgen als wie die grauen, Metallglanz zeigenden Zinntheilchen und sie scheinen auch, wie eben erwähnt leichter von den Zellen angezogen zu werden, wie die Zinntheilchen — werden durch den elektrischen Strom bunt durcheinander geführt, wobei ich noch hinzusetze, dass ich meist das Blatt während des Versuchs mit einem Deckglas bedeckte und eine Immersionslinse von 700 facher Vergrösserung zur mikroskopischen Beobachtung anwendete. Die Theilchen von winzigster Grösse kommen über die Oberfläche des Blattes gelaufen, bleiben oft genug plötzlich an den Punkten der Oberfläche des Blattes stehen, wo ein Zinnfleck entstehen soll und rücken dann nicht mehr von der Stelle. In den Fällen, wo ein Fleck an Umfang zunimmt, beginnt er zumeist ganz in der Nähe der Ein- oder Austrittsstelle des Stromes der

Zelle oder aber so ziemlich genau in der Mitte der Verbindungslinie zweier Zellen, wobei man sich diese Linie senkrecht zum Strome zu denken hat und schreitet nun, an Masse zunehmend, in Richtung des Stromes oder in der entgegengesetzten bald bis zur Mitte der Zelle, bald auch noch über sie hinaus reichend, fort. Während nun der Ausgangspunkt des Fleckens bereits ganz schwarz ist, ist das zuletzt niedergeschlagene Zinn noch durchsichtig; der Fleck läuft meist in einen abgestumpften Schwanz aus. Ist der Ausgangspunkt der Mittelpunkt der Verbindungslinie zweier Zellen, so nimmt der Fleck in diesem Falle meist in zwei Richtungen parallel dem Strom an Umfang zu.

Haben sich nun solche Anhäufungen in der beschriebenen Weise beim Durchleiten eines kräftigen Inductionsstromes gebildet und man dreht nun den Strom um, so werden die Zinntheilchen, von denen ich hier spreche, nicht abgeworfen; sie haften ziemlich fest auf den Zellen und sind oft genug durch Überschwemmen mit Wasser noch nicht zu entfernen. Ich mache zum Überfluss darauf aufmerksam, dass die Blattoberfläche durchaus nicht schleimige Beschaffenheit zeigt, im Gegentheil: sie ist glatt und ist also das Haften der Theilchen nicht durch eine oberflächliche Adhäsion zu erklären.

Sind nun die beschriebenen Erscheinungen eingetreten und leitet man lange Zeit einen Strom durch das Blatt oder häufig, wenn man den elektrischen Strom noch etwas verstärkt, so treten nochmals neue Erscheinungen auf. Die Punkte, welche den Ausgangspunkt für die Zinnflecke darstellten, sind und bleiben mit ihren Zinntheilchen in vollkommener Ruhe; in ihrem Umkreis aber sammelten sich noch immer Zinnpartikelchen, die sich um den Ruhepunkt auf das Lebhafteste bewegen; die Bewegung ist wirr; die ganze Masse wogt; die Theilchen gehen unstät mit grosser Geschwindigkeit hin und her, wirr durcheinander; es ist eine äusserst lebhafte Molecularbewegung vorhanden, wie ich sie nur in absterbenden Pflanzenzellen in einzelnen Fällen gesehen habe. Ganz die gleiche Erscheinung tritt auch auf im ganzen Umfang der Zelle oder im grössten Theile derselben wenigstens; man nimmt eine Configuration von äusserst lebhaft sich bewegenden Zinnpartikelchen im Umfange der Zelle wahr, an allen denjenigen Stellen, an denen die Seitenwände der parallelepipedischen

Zellen mit der Oberwand einen rechten Winkel bilden. Die Zinnmassen, welche auf den Kanten der Zellen tanzen, sind als Ganzes ausserdem in hin- und hergehender Bewegung begriffen, ja es scheint fast, als würde die ganze Masse zuweilen um den Umfang der Zellen rotiren; die Geschwindigkeit der Bewegungen ist so gross, dass ich nicht mehr im Stande war, die Bewegungserscheinungen zu analysiren, und wenn ich die Bewegung durch Herabsetzen der Stromstärke verlangsamen wollte, um sie dem Auge aufnehmbar zu machen, so verschwand das räthselhafte Bild und es trat wieder die alte, ruhig verlaufende, im Anfang beschriebene Erscheinung ein.

Arbeitete mein Ruhmkorff, sei es durch momentan auftretende stärkere Polarisation in der Kette oder durch Abnehmen derselben oder auch aus andern Gründen, unregelmässig, so ereignete es sich zuweilen, dass die Theilchen, welche nicht dem Blatte ansassen, sondern nur ihre lebhaften Bewegungen auf bestimmten Theilen des Blattes ausführten, mit einem Mal durch den Strom ungeachtet der von dem Blatte geübten Anziehung fortgetrieben wurden; im nächsten Momente war aber dann die Configuration der Zinntheilchen wieder vorhanden.

Durch Umlegen des Stromes wurde in der Erscheinung selbst nichts wesentlich geändert.

Die Lage der Zelle zum elektrischen Strom hat keine Bedeutung für das Zustandekommen des Phänomens, denn parallel, senkrecht, schief zum Strome postirte Zellen zeigen oft genug dieselben Gesetzmässigkeiten.

Ich habe nun versucht, ob den beschriebenen Dingen eine allgemeinere Verbreitung bei verschiedenen Pflanzen zukömmt.

Wenige Versuche, welche ich nun weiter ausdehnen will, zeigten, dass es ein ganz allgemeines Phänomen zu sein verspricht; so nahm ich ähnliche Erscheinungen wahr wie bei Elodeablattzellen bei Vallisneriablattzellen. Ebenso Schnitte aus Kartoffeln zeigten regelmässig eine Ansammlung von Zinntheilchen sowohl aussen auf den Zellen als im Innern der angeschnittenen Zellen beim Durchleiten eines elektrischen Stromes, und zwar war es hier regelmässig die dem positiven Pole zugekehrte Zellwand, welche schwarz durch Zinnoxydul wurde.

Ferner ereignet sich dasselbe bei dem elektrischen Strome ausgesetzten Markzellen von *Pavia neglecta.*

Auch Haarzellen bedeckten sich dann und wann auf eine ganz gesetzmässige Weise auf der dem positiven oder negativen Pole zuliegenden Seite mit Zinn, welche Zinnansammlungen nach der Mitte der dem Strome parallel liegenden Zelle zu abnahmen.

Überaus deutlich zeigte sich die Erscheinung ferner bei radialen Längsschnitten durch den Stengel von *Urtica dioica.* Das Protoplasma vornehmlich der Markzellen, welches sich theilweise kurz nach Stromschluss an der dem positiven Pole zugekehrten Zellwand ansammelte oder welches bereits schon vor dem Durchleiten des Stromes an dieser Stelle vorhanden war, wurde durch Zinntheilchen geschwärzt. In letzterem Falle handelt es sich also lediglich um angeschnittene Zellen; aber auch an ganzen Zellen war die Anhäufung bemerklich, so dass also die Oberfläche sich mit Zinn an der Eintrittsstelle des Stromes bedeckte.

Wir können also jetzt schon der Erscheinung des polaren Verhaltens, welches ich glaube als magnetisch bezeichnen zu dürfen, eine allgemeinere Verbreitung und Bedeutung beilegen.

Es hat mich nun interessirt, zu wissen, ob dies polare Verhalten der Zellen beim Durchleiten eines kräftigen Inductionsstromes die Ursache des inneren secundären elektrischen Widerstandes, welchen Du Bois-Reymond bei Gelegenheit einer umfassenden denkwürdigen Untersuchung entdeckt hat, sein könne. Der Umstand, dass ich sehr grosse Stromstärken anwendete, um polare Eigenschaften an Pflanzentheilen hervorzubringen, hätte an dieser vorausgesetzten Möglichkeit kaum etwas zu ändern.

Würde eine Beziehung zwischen beiden Erscheinungen herrschen, so müsste, schloss ich, auch das polare Verhalten, welches ich als magnetisch bezeichnet habe, verschwinden, sobald ich die Pflanzentheile der Siedhitze des Wassers aussetze, denn wir wissen gleichfalls durch Du Bois-Reymond, dass der den Pflanzen zukommende innere secundäre Widerstand verschwindet, sobald wir die Pflanzen in kochendes Wasser werfen. Ich tödtete auf diese Weise meine Versuchsobjecte ab und setzte

sie nun wiederum, nachdem ich sicher war, dass kein Leben mehr vorhanden sein konnte, dem elektrischen Strome aus; allein nun trat das polare Verhalten wiederum ein; die Zinntheilchen wurden ganz in gleicher Weise wieder angezogen wie zuvor; das polare Verhalten konnte somit mit dem inneren secundären Widerstande in keinem directen Zusammenhange stehen.

Da ich nun in den Gegenstand weiter einzudringen wünsche, lege ich das ursprüngliche Phänomen einstweilen in diesem versiegelten Schreiben nieder.

Vorerst können wir als wichtigstes Resultat der Untersuchung hinstellen, dass beim Durchleiten eines starken Inductionsstromes durch verschiedene Pflanzenzellen dieselben ein polares Verhalten zeigen, welches erst noch näher zu untersuchen ist; — ist es auch die Eintrittsstelle des Stromes allein, welche magnetisch wirkt; seltener zeigen andere Stellen der Zelle Polarität oder Magnetismus. Endlich kann auch bei grossen Stromstärken der ganze Umfang der zufällig nach oben gekehrten Zellwand Metalltheilchen anziehen, wobei zu beachten ist, dass Ruhepunkte unter den lebhaft sich bewegenden Metalltheilchen wahrnehmbar sind und dass diese wiederum den Ein- und Austrittsstellen des Stromes entsprechen.